

родной научно-практической конференции (27-29 марта 2014 г., г. Екатеринбург). – Екатеринбург: УрФУ, 2014. Ч. 1. – С. 246-259.

3. Спитченко Д.И., Вохмяков А.М., Киселев Е.В., Казяев М.Д., Казяев Д.М. Исследование тепловой работы вертикальной термической печи после технического перевооружения // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ'2013) с международным участием (28–29 марта 2013 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – С. 93–102.

УДК: 669.184.144.8

В. А. Дудко, В. И. Матюхин, А. В. Матюхина, С. Я. Журавлев, К. А. Зельманчук
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЛОЯ КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ВЕРТИКАЛЬНОМ БУНКЕРЕ

Аннотация

Переработка большинства рудных металлургических материалов осуществляется в кусковом виде при различной степени дисперсности. Для хранения этих материалов и реализации различных технологических процессов используют вертикальные цилиндрические, конические или комбинированные сосуды (бункеры для хранения, шахтные печи и др.). Вследствие образования подвижных сводовых конструкций в структуре слоя между отдельными кусковыми элементами и стенами рабочего пространства шахтного объекта происходит саморегуляция процессов разгрузки дисперсных элементов с ограничением их производительности. В качестве решения данной проблемы было предложено использование импульсной подачи сжатого воздуха в слой посредством равномерно распределенных по сечению шахтного объекта фурм. Исследования проводились на холодной физической модели. Полученные результаты позволили определить оптимальные параметры работы пневмоустановки, а также сделать ряд выводов о целесообразности применения пульсирующего дутья.

Ключевые слова: шахтный агрегат, подвешивание слоя, пульсирующее дутье.

Abstract

Processing of the majority of ore metallurgical materials is carried out in a lumpy form with different degrees of dispersion. To store these materials and implement various technological processes, use vertical cylindrical, tapered or combined vessels (storage bins, shaft furnaces, etc.). Due to the formation of movable arched constructions in the structure of the layer between individual lump elements and walls of the working space of the mine facility, self-regulation of the processes of discharging disperse elements with a restriction of their productivity takes place. As a solution to this problem, it has been proposed to use the pulsed supply of compressed air to the bed by means of tuyeres uniformly distributed along the section of the mine object. The research was carried out on a cold physical model. The obtained results made it possible to determine the optimum parameters of the operation of the pneumatic installation, and also draw a number of conclusions about the advisability of applying pulsating blasting.

Keywords: mine aggregate, layer suspension, pulsating blast.

В условиях интенсивного развития технологий слоевых процессов появляется необходимость регулирования процесса выгрузки кусковых материалов. В промышленности имеется ограниченное количество приемов для управления этим процессом.

Механическое разрушение сводовых конструкций из обрабатываемых кусковых материалов с применением механических виброустройств, устанавливаемых на внешней поверх-

ности рабочего пространства ограничено конструктивными ограничениями. Кроме того, в зависимости от параметров вибрации стен (частота, амплитуда), распространения периодических механических воздействий распространяется преимущественно на периферийную зону слоя глубиной 2–4 диаметра куска. Поэтому такой способ предотвращения подвисания шихты эффективно используется в основном в агрегатах небольшого горизонтального размера (1–2 м). Кроме того, эти способы воздействия на вертикальное перемещение частиц сопровождаются значительным шумом и износом оборудования.

Для разрушения сводовых конструкций в агрегатах большего размера достаточно эффективно показали себя пневматические устройства с импульсной подачей порций сжатого воздуха в слой через равномерно распределенные фурмы или перфорированные трубы. Однако степень разрушения сводовых конструкций в бункерах при этом ограничена параметрами пульсаций (значительная амплитуда колебаний механического воздействия, малый диапазон частоты пульсаций, ограниченной газопроницаемостью обрабатываемого слоя) и состоянием слоя (степень уплотнения, наличие наростов). При этом пневмообрушение сводовых конструкций сопровождается значительным пылеобразованием ограничена газопроницаемостью продуваемого слоя.

Для изучения возможностей пневмообрушения в рабочем пространстве шахтных продуваемых конструкций были выполнены исследования процесса взаимодействия непрерывной пульсирующей струйной ограниченной подачи воздушного дутья с плотным слоем кусковых материалов в лабораторных условиях.

Исследования проводились на холодной модели вертикального бункера, эскиз конструкции которого представлен на рис. 1.

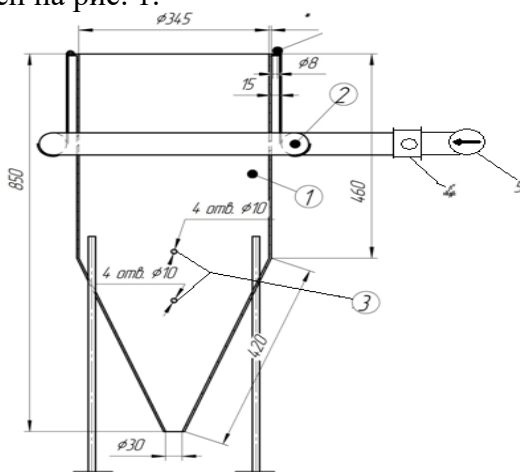


Рис. 1. Схема конструкции экспериментального бункера:

1 – корпус; 2 – распределительный коллектор воздушного дутья; 3 – отверстия для струйной подачи воздуха; 4 – механический прерыватель; 5 – воздушный компрессор

В качестве загруженного материала использовали кремнеземистый материал с диаметром кусочков 3–5 мм. Загрузка материалов осуществлялась дождем до верхнего обреза бункера и в процессе исследований выпуска материалов поддерживалась на одном уровне. Выпуск материалов из бункера производили путем открытия нижней задвижки в отдельный контейнер с фиксацией его веса, что позволяло контролировать производительность бункера по выгружаемому материалу.

Пульсирующая подача воздушного дутья осуществлялась с помощью четырех фурм, расположенных равномерно по периметру бункера и присоединяемых при помощи гибкого шланга с общим распределительным коллектором (2). Фурмы крепились под обрез внутренней поверхности бункера и позволяли изменять угол наклона из оси к горизонту. В процессе исследований изучалось воздействие пульсирующего дутья отдельно через фурмы, расположенные на двух горизонтах: в конусной части и в цилиндрической части бункера.

Основными факторами, определяющими процесс выгрузки материалов из бункера, были выбраны: X_1 – расход дутья в пределах от 0,1 до 35 м³/ч; X_2 – угол наклона фурм к горизонту в пределах от –45 градусов (вверх) до 45 градусов (вниз); X_3 – частота прерывания газового потока в пределах от 0 до 50 Гц. Контроль расхода воздуха осуществлялся ротаметром типа РС–5. Угол наклона фурм к горизонту контролировался ручным способом с помощью транспортира. Частота прерывания газового потока осуществлялась механическим прерывателем лепесткового типа с приводом от электрического двигателя и контролировалась с помощью электронного тахометра типа Testo–460.

Исследования проводились в соответствие с планом ротатбельного планированного эксперимента третьего порядка.

После обработки экспериментальных данных были определены уравнения регрессии, описывающие изменения производительности бункера при подаче воздушного дутья в конусную часть (Y_1) и при подаче в цилиндрическую часть (Y_2).

$$Y_1 = 0,1375 + 0,008x_1 + 0,0078x_2 + 0,0097x_3 + 0,009x_1x_2 + 0,0095x_1x_3 + 0,013x_2x_3 + 0,0055x_1^2 + 0,004x_2^2 + 0,0047x_3^2;$$

$$Y_2 = 0,140214 + 0,001088x_1 + 0,0058x_2 + (6,28E - 05)x_3 + 0,00043x_1x_2 + 0,00044x_1x_3 + (4,6E - 05)x_2x_3 + (8,92E - 05)x_1^2 + 0,00024x_2^2 + 0,00043x_3^2$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии показали, что в уравнении для Y_1 незначимыми коэффициентами являются b_{11} , b_{22} , b_{33} , и ими при анализе представленной зависимости можно пренебречь.

В уравнении для Y_2 все коэффициенты уравнения регрессии считаются незначимыми вследствие незначительности их веса в общем значении анализируемого параметра.

Анализ уравнений на существование глобального экстремума по исследуемым параметрам показал его существование за пределами области их изучения.

На рисунке 2 представлена экспериментальная зависимость изменения производительности бункера при подаче пульсирующего дутья в коническую области от удельного расхода воздуха через бункер, угла наклона фурм к горизонту и частоты пульсаций.

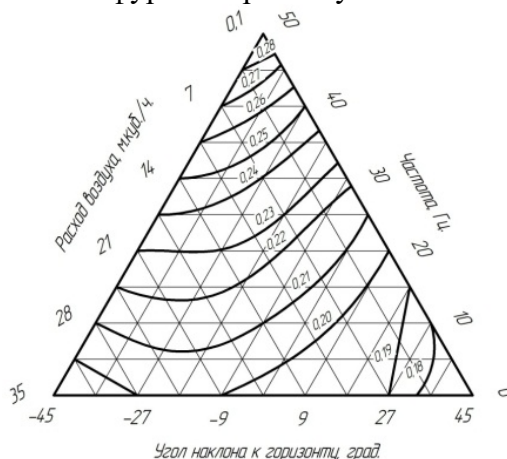


Рис. 2. Экспериментальная зависимость изменения производительности бункера (цифры у кривых, кг/(м²с) от общего расхода воздушного дутья, угла наклона фурм к горизонту и частоты прерывания воздушного потока

Анализ полученной зависимости показал, что с увеличением расхода подаваемого через слой газового потока производительность разгрузки сокращается. Такой характер воздействия подачи газового потока связано в первую очередь с возникновением подъемной силы фильтрующего потока пропорциональный его газодинамическому сопротивлению $\Delta P = \xi \frac{W^2 \rho}{2}$. Здесь ξ – коэффициент сопротивления слоя; W – средняя скорость потока через слой; ρ – плотность газа.

Согласно полученным данным установлено, что характерной особенностью воздействия пульсирующего дутья является увеличение скорости выгрузки кусковых материалов с увеличением частоты пульсации. Если предположить, что коэффициент гидравлического со-

противления слоя под действием пульсаций не изменяется, то при взаимодействии пульсирующего потока между отдельными частицами слоя возникает дополнительная касательная составляющая напряжений [2], воздействие которой приводит к нарушению целостной вертикальной мостиковой структуры слоя с увеличением вертикальной составляющей его веса с повышением скорости выхода отдельных частиц из бункера и производительности агрегата.

Влияние же угла наклона используемых фурм для подачи пульсирующего дутья связано с появлением в кусковой насадке вертикальной составляющей динамического напора, направленной вертикально вниз [3], которая с увеличением угла наклона фурм к горизонту до 18–30 градусов способствует перемещению отдельных кусков слоя. За пределами этого интервала ориентации фурм в пространстве производительность агрегата сокращается.

Таким образом, проведенные исследования показали возможности изменения производительности в достаточно широких пределах с использованием пульсирующего дутья, организованного при помощи периферийных фурменных устройств ориентированных в пространстве.

Список использованных источников

1. Фиалков Б.С., Плицын В.Т., Максимов Е.В. Управление истечением сыпучих материалов. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1981. – 148 с.
2. Галицкий Б.М., Рыжов Ю.А., Якуш Е.В. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках. М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.
3. Тепловая работа шахтных печей и агрегатов с плотным слоем / Я.М. Гордон, Б.А. Боковиков, В.С. Швыдкий [и др.]. – М.: Металлургия, 1989. – 120 с.

УДК 621.365.4

И. А. Замятина, Е. В. Киселев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КАМЕРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация

В работе исследована тепловая работа камерной электрической печи сопротивления СНЗ 6,3 для нагрева мелкосерийной продукции. Рассчитан нагрев металла. Составлен тепловой баланс действующей печи, определены КПД печи и удельный расход электроэнергии. Проанализирована работа печи, выявлены основные ее недостатки, предложены эффективные мероприятия для технического перевооружения печи и снижения потребления энергии, такие как замена футеровки на более современные материалы с низкими коэффициентами теплопроводности. Предложено использовать более дешевый материал для нагревателей. На основе замены футеровки, составлен новый тепловой баланс, проанализирована работа модернизированной печи, определены новые КПД печи и удельный расход электроэнергии. При реализации предложенных мероприятий можно ожидать значительного снижения энергопотребления при производстве мелкосерийной продукции.

Ключевые слова: камерная электрическая печь сопротивления, нагрев, термообработка, конструкция, тепловой баланс, мощность.

Abstract

The thermal operation of the chamber electric resistance furnace SNZ 6.3 for heating small-scale production was investigated. The heating of the metal is calculated. The thermal balance of the existing furnace is made, the efficiency of the furnace and the specific electricity consumption